

危機迫る下水道インフラの機能維持と 市民生活について

東京大学
下水道システムイノベーション研究室・特任准教授
東北大学 特任教授(客員)

加藤 裕之

自己紹介 経歴

1960年横浜生まれ、昭和61年4月建設省下水道部に入省、その後、滋賀県下水道課長、日本下水道事業団計画課長、国土交通省下水道部下水道事業調整官、流域管理官、下水道事業課長等を歴任し退職、(株)日水コン・技術統括フェローを経て、令和二年4月より東京大学大学院都市工学専攻下水道システムイノベーション研究室特任准教授 博士(環境科学・東北大学)

兼務 東北大学特任教授 中央大学研究開発機構・機構教授

主な委員

国土交通省・上下水道地震対策検討委員会委員

国土交通省・下水道管路メンテナンス技術の高度化・実用化推進会議

埼玉県道路陥没原因究明委員会委員

横浜市下水道事業経営研究会委員

主な著書

○上下水道事業のPPP/PFIの制度と実務

○下水道イノベーションセミナー@本郷 講演集

○コンセプト下水道

○フランスの上下水道経営2020.5

○3.11東日本大震災を乗り越えろ「想定外」に挑んだ下水道人の記録2013.2



I.下水道の大規模地震対策について

能登半島地震を踏まえた今後の地震対策

国土交通省・上下水道地震対策検討委員会

○上下水道システムの「急所」となる施設の耐震化

※浄水場や下水処理場及びそれらの施設に直結した管路など、被災すると広範囲かつ長期的に影響を及ぼす恐れのある上下水道システムの「急所」

○避難所など重要施設に係る上下水道管路の一体的な耐震化

○地すべりなどの地盤変状のおそれのある箇所を避けた施設配置

○可搬式浄水設備／汚水処理設備の活用などによる代替性・多重性(モバイルの柔軟性)

○マンホールの浮上防止対策・接続部対策

○人材の確保・育成や新技術の開発・実装等



仙台市提供

南海トラフ地震が
30年以内に起こる確率は？

すべり量依存BPTモデル

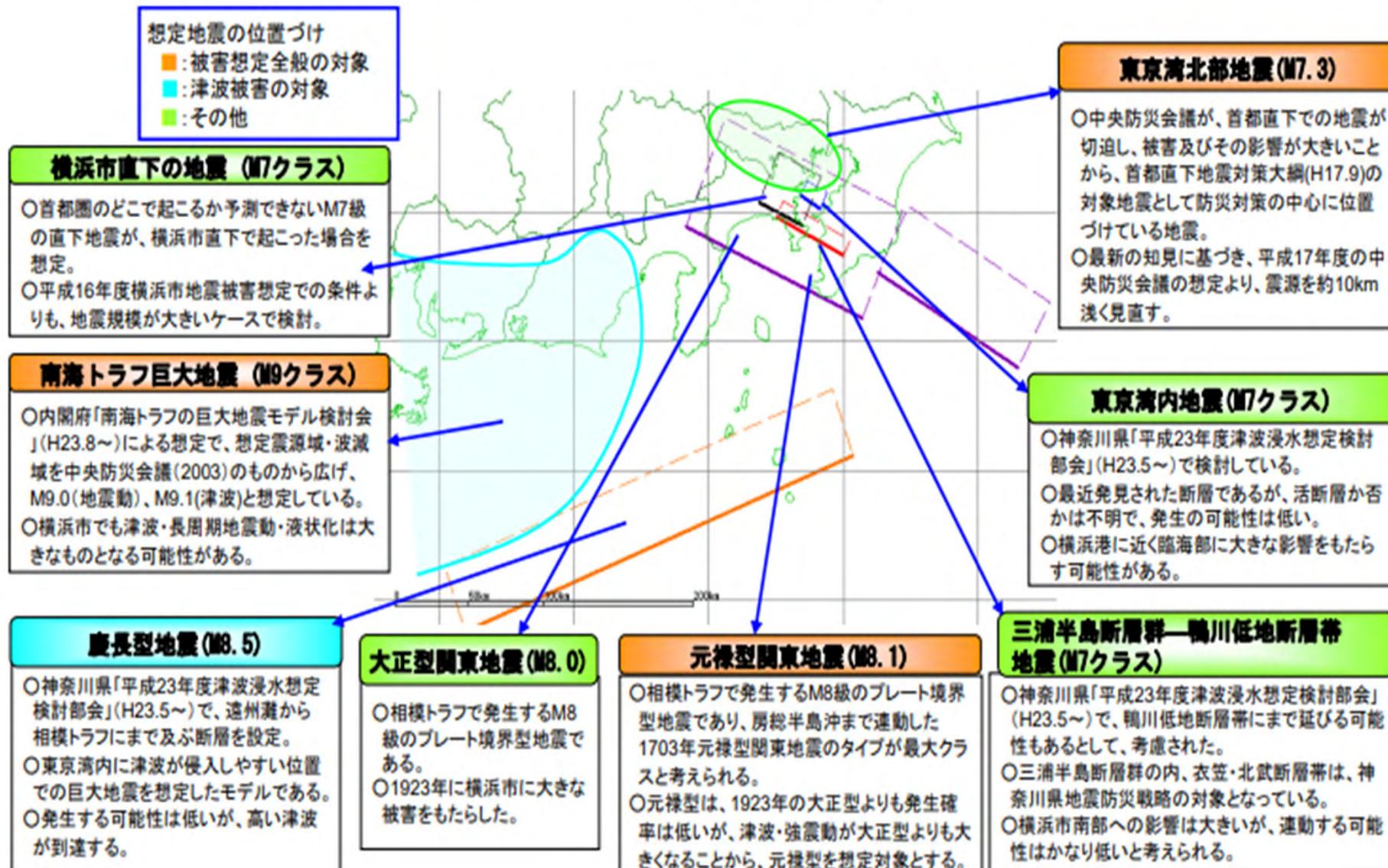
60～90%以上

※BPTモデル 20～50%

首都直下地震は、今後30年以内
に発生する確率が70%程度

災害対応は想定ありき

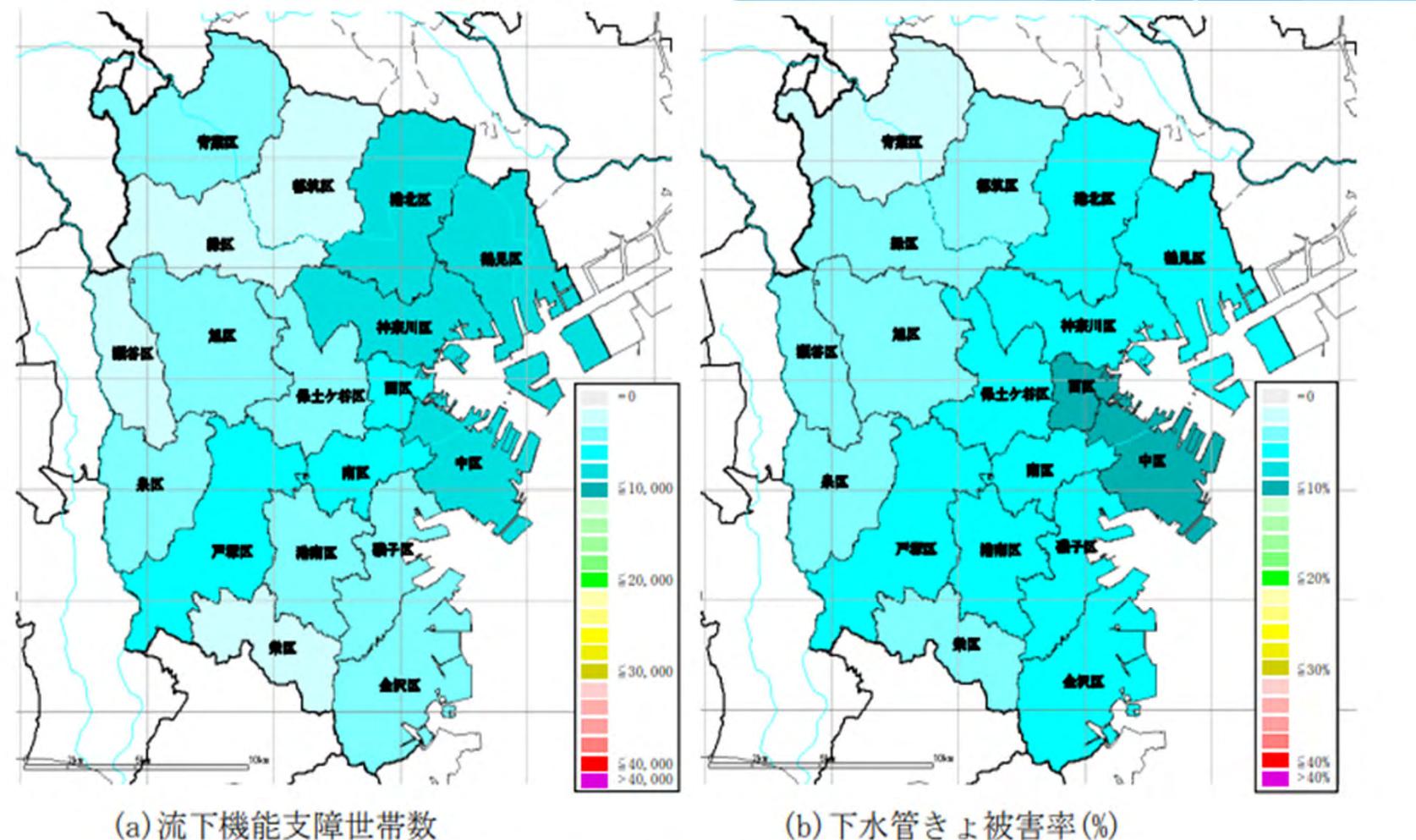
横浜市地震被害想定調査報告書(平成24年10月)より



- ・液状化リスク(低地部等)
- ・都市部密集・老朽建築
- ・交通・港湾機能の脆弱性
- ・津波リスク(沿岸部)

横浜市の下水管被害想定

液状化域が広くなったことなどにより、被害延長が長くなっている。被害率は震度7となる中区・西区で大きいものの、被害延長では、総延長が長い金沢区・戸塚区で大きい。下水管路はネットワークを構成しており、実際の流下機能支障は、予測より大きくなる可能性



横浜市地震被害想定調査報告書(平成24年10月)より

下水道被害の特徴

液状化による下水マンホールの浮き上がり
交通への影響で災害支援の遅れも



- ・人孔や管路内の土砂閉塞等

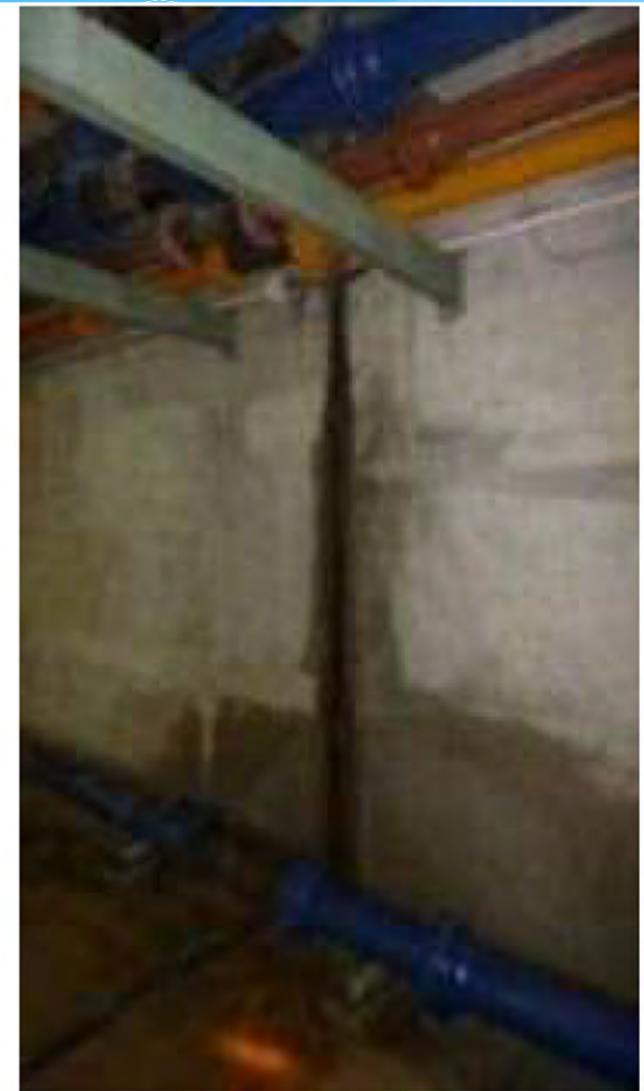


人孔内土砂閉塞(羽咋市)



人孔内滯水(七尾市)

＜益城町浄化センターの事例＞



反応タンク継ぎ目部破損による漏水

廃墟のような南浦生



下水道施設が被災した時の市民への影響

大規模地震時の影響及び既存施設の耐震化状況



下水道施設が被災した場合の重大な影響

下水道のライフライン特性

水道



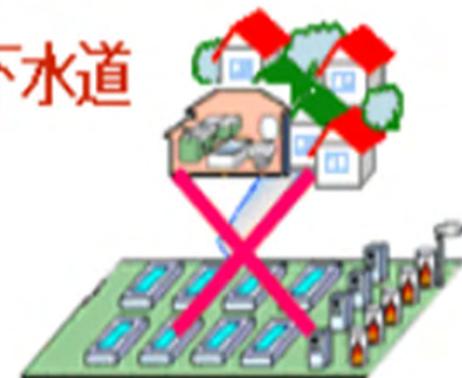
電気



ガス



下水道



給水車

ペットボトル



自家発電機



携帯式ガスセットコンロ



代替手段がない

仮設トイレはあくまでも緊急的な対応
汚水の処理ができず、またストレスによる住民の負担も深刻



下水道施設の耐震対策(ハード)

レベル1地震動		レベル2地震動	
重要な幹線等 及び その他の管路	設計流下能力を 確保できる性能	重要な幹線等	流下能力を確保できる性能

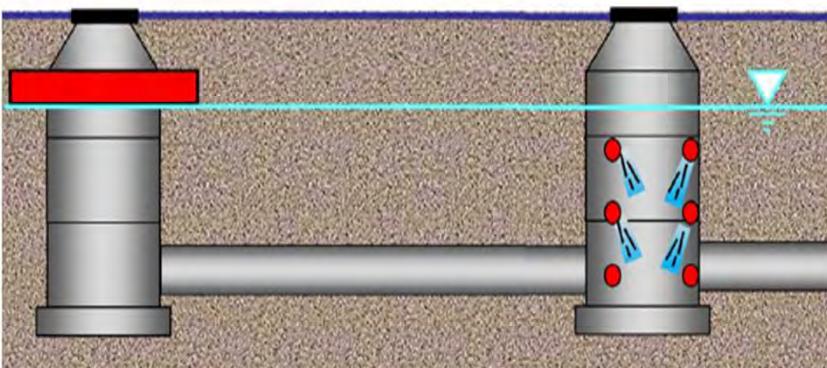
【土木構造物の設計地震動】 レベル1地震動: 施設の供用期間内に1~2度発生する確率を有する地震動

レベル2地震動: 施設の供用期間内に発生する確率は低いが大きな強度を有する地震動

マンホールの浮上防止

○液状化によるマンホールの浮上を防止するため、発生した過剰間隙水圧を消散させる弁を設置したり、浮力に対抗するために重量を増したりする工法を用いる。

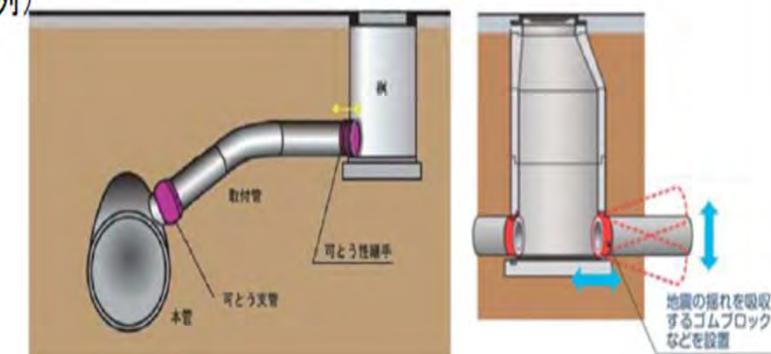
(例)



可とう性継ぎ手の設置

○地震動による管渠の接続部のずれ等を防ぐため、マンホールと管渠の接続部に可とう性継ぎ手を設置し、継ぎ手部分をフレキシブルにすることで耐震化を図る。

(例)

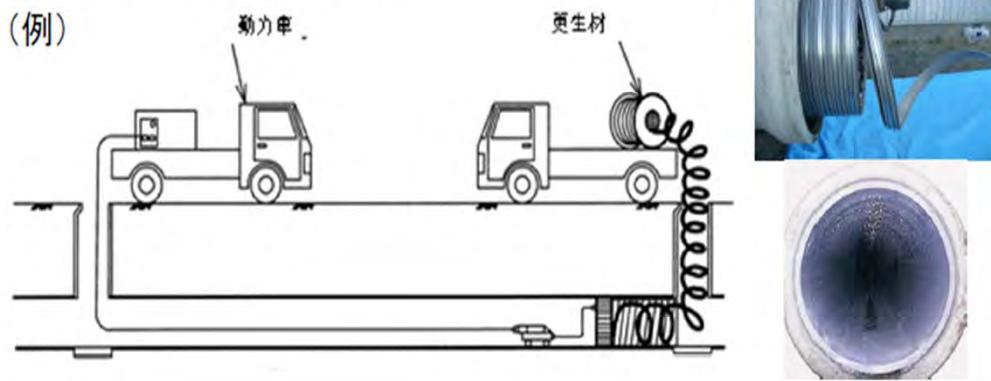




管渠更生工法

○既設管内面に管を構築することにより、耐荷能力、耐久性を有する更生管として耐震化を図る。

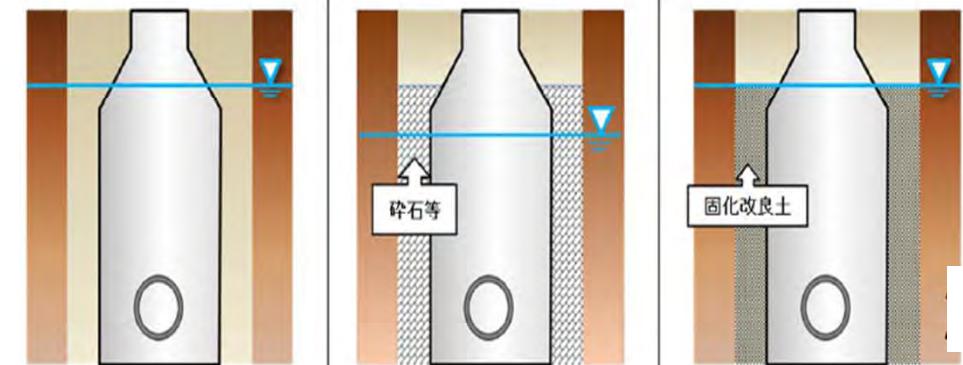
(例)



埋戻し土の液状化対策工法

○液状化への対応として碎石等による埋戻しを行う。

(例)



【珠洲市】
対策未実施



【津幡町】
対策：碎石による埋め戻し

街中にこぼさず、最低限の処理(消毒等)だけはして「出す」 「出す」=逆流させない

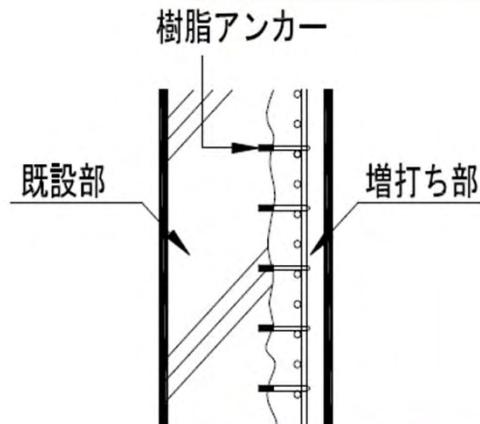
表 1-1 上下水道施設の要求耐震性能

	対象	レベル1地震動	レベル2地震動
水道	浄水場や基幹管路などの重要施設	健全な機能を損なわない	生ずる損傷が軽微であって、当該施設の機能に重大な影響を及ぼさない
	配水支管など	生ずる損傷が軽微であって、当該施設の機能に重大な影響を及ぼさない	注)
下水道	下水処理場、ポンプ場	修復せずに本来の機能を確保	速やかな機能回復を可能
	下水処理場、ポンプ場 (既存施設)	修復せずに本来の機能を確保	揚水機能、消毒機能、最小限の沈殿機能・汚泥貯留機能を確保
	重要な幹線等	設計流下能力を確保	流下機能を確保
	軌道や緊急輸送路等下の埋設管路		流下機能を確保 交通機能を阻害しない
	その他の管路		

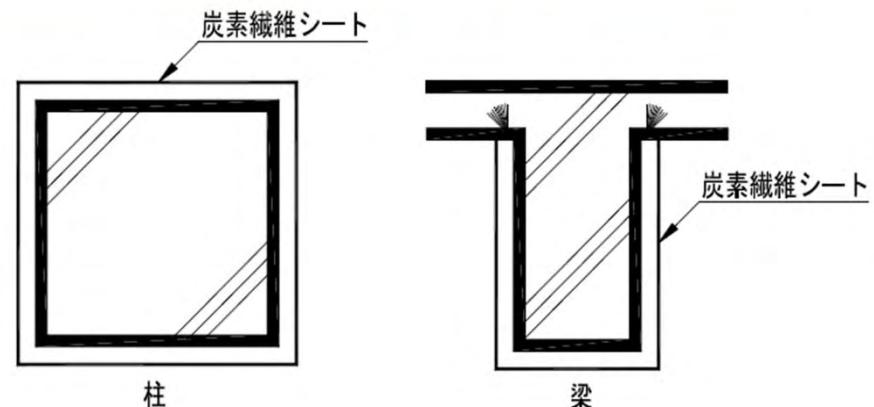
※ 下水道の「重要な幹線等」とは、流域幹線の管路、ポンプ場・処理場に直結する幹線管路、河川・軌道等を横断する管路、緊急輸送路等に埋設された管路、防災拠点や避難所等からの排水を受け持つ管路など。

〈処理場・ポンプ場の耐震化対策事例〉

RC断面増厚工法による躯体の補強



炭素繊維補強工法による躯体の補強



プレース設置による補強





災害復旧活動について

風評の中、仙台市との初協議

市の職員は被害者の救助に忙殺される
下水道の災害復旧の主役は
他の自治体からの応援

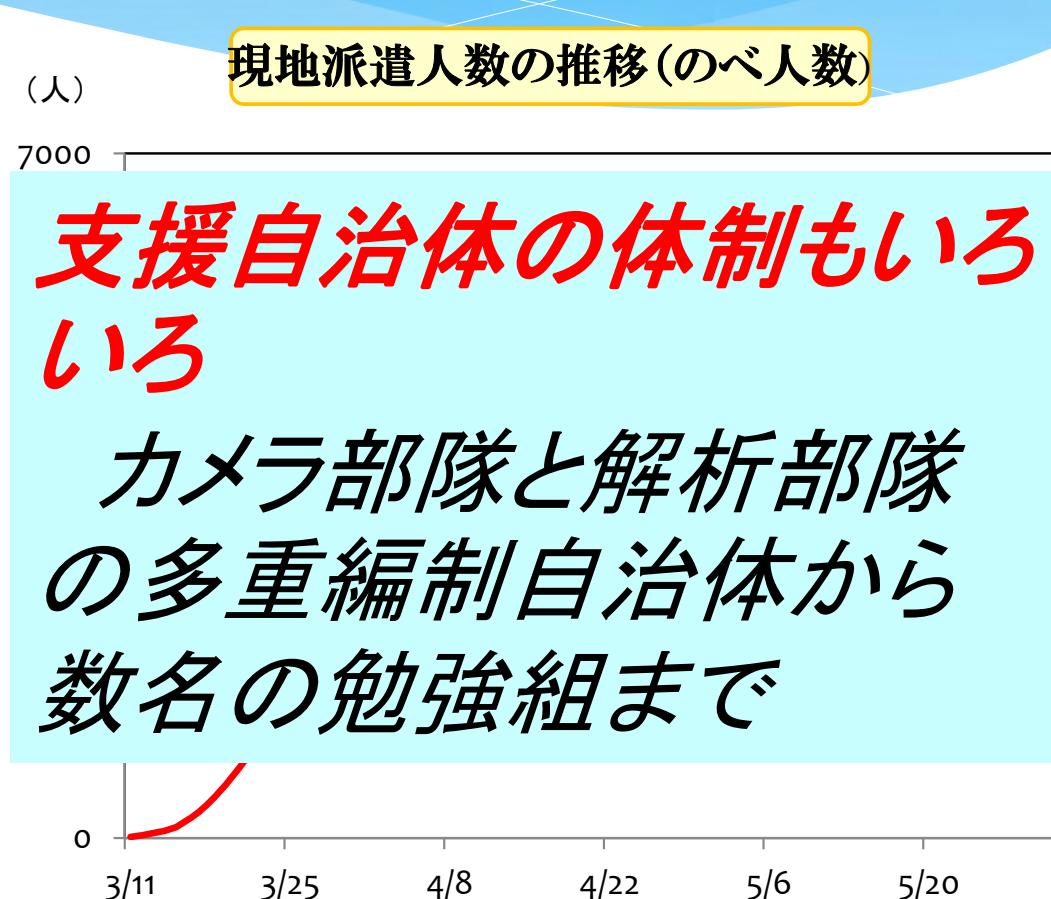
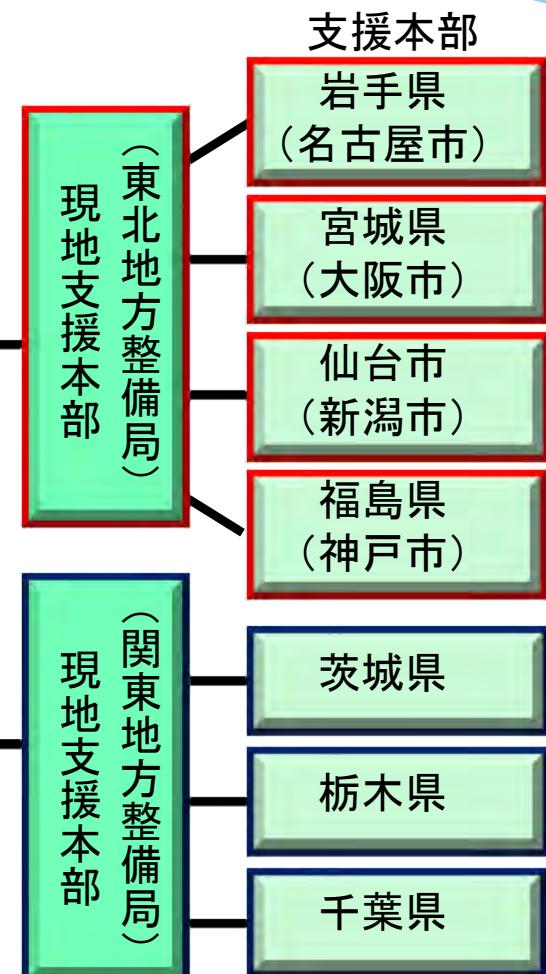


写真:日本水道新聞社

全国的な自治体、地元・全国企業からの支援が必要

6月1日までに
109市町村から、のべ7000人 + **民間企業**

支援調整チーム
(3月13日設置)
【担当機関】
・国土交通省
　下水道部
・国総研
　下水道研究部
【連携機関】
・下水道事業団
・下水道協会
・政令指定都市
・関係企業
など



※()はアドバイザー支援都市

被災した施設は山ほど……
だからどうする?

Priorityをつける

Top Priority1

街中からの汚水排除と最低限の処理

水環境より大切なこと!?

→「街中からの汚水の
排除ネットワーク確保」

さまざまな緊急措置により、速やかに応急対応



仮設配管
(千葉県習志野市)



土のうによる仮設水路
(宮城県多賀城市)



素掘水路+ブルーシート
(青森県馬淵川流域(八戸市))



仮設配管
(千葉県習志野市)



固体塩素での消毒状況
(岩手県大船渡市)



バキューム車による汚水移送
(茨城県潮来市)

管きよにおける緊急措置の事例(河川に設置した簡易沈殿池)

宮城県(県南浄化センター)



○3月22日:簡易処理(沈殿+消毒)開始

- ・仮設沈殿池に覆い等が無いため
臭気の苦情が発生
- ・県南浄化センターや名取ポンプ場
の復旧により順次、放流量減少

○6月 1日:仮設沈殿池撤去開始

○6月17日:仮設沈殿池撤去完了

千葉県習志野市



○3月11日:汚水幹線の開塞によりマンホール
から汚水が溢水し、河川に流出

○3月29日:マンホールに固体塩素投入

○4月29日:河川内に簡易処理施設を設置し、
沈殿、塩素消毒を実施。

○5月上旬:凝集剤を添加

○7月 1日:バイパス完了・施設機能廃止

ネットワークの急所 →ポンプ場など



熊谷ポンプ場から株洲市浄化センターへの圧送管の被災

- 珠洲市において、管路の2次調査延長割合が大きい一因としては、熊谷汚水中継ポンプ場から株洲市浄化センターに送水する圧送管(耐震化未実施)の被災によりポンプ稼働できず上流側汚水管が広範囲に滯水したことが考えられる。





急所・地域企業との協力で急速に早まった復旧



Top Priority2 トイレ

- 避難所である矢本第一中学校(東松島市)では、マンホールトイレ9基が校庭の一角に設置され、約900人の避難者が利用
- 他の仮設トイレと異なり、マンホールトイレは段差がないため、特に年寄りに好評

①マンホールトイレの設置状況



①

②手押しポンプと
トイレ用水供給槽



②

③洋式のマンホールトイレ



③

④和式のマンホールトイレ



④

「下水道総合地震対策事業」によりマンホールトイレの整備を支援

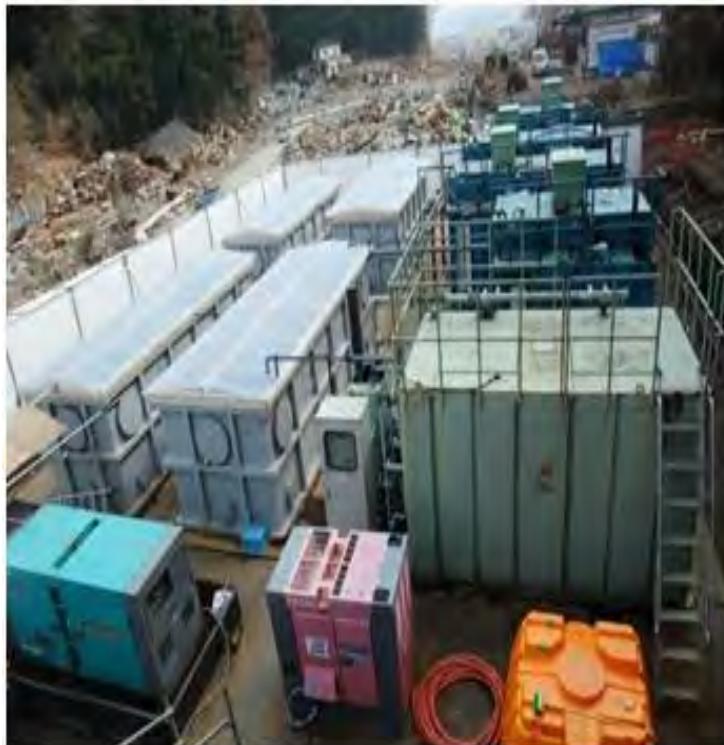
避難所の排水設備

排水設備業者の確保(浄化槽も)
※他都市業者からの支援も

Top Priority3

資機材確保と災害査定

活躍するモバイル型処理施設



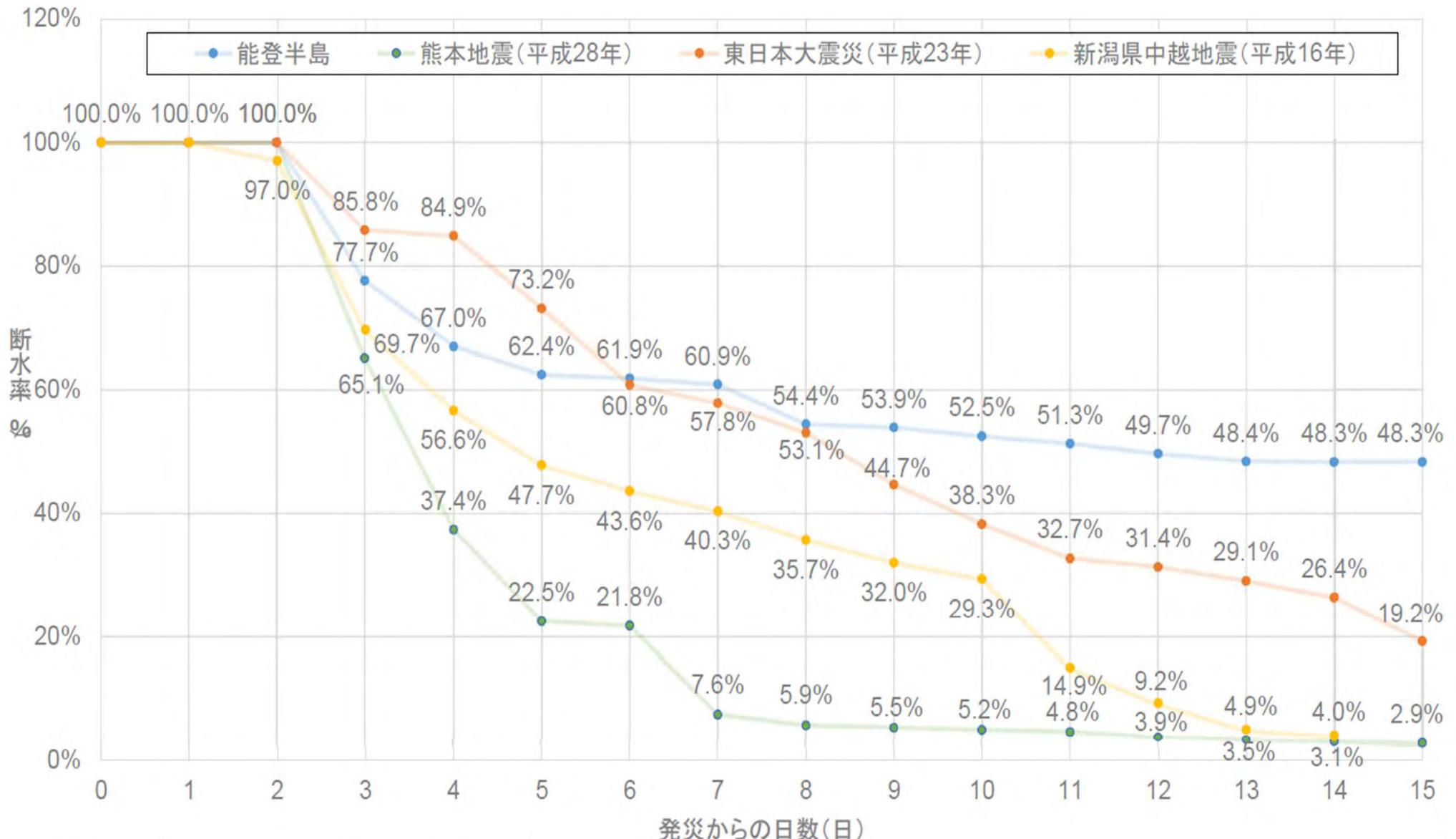
陸前高田浄化センター

Top Priority4

わかりやすい水道の復旧
そのスピードを確認し協調

過去の地震等における断水状況との比較

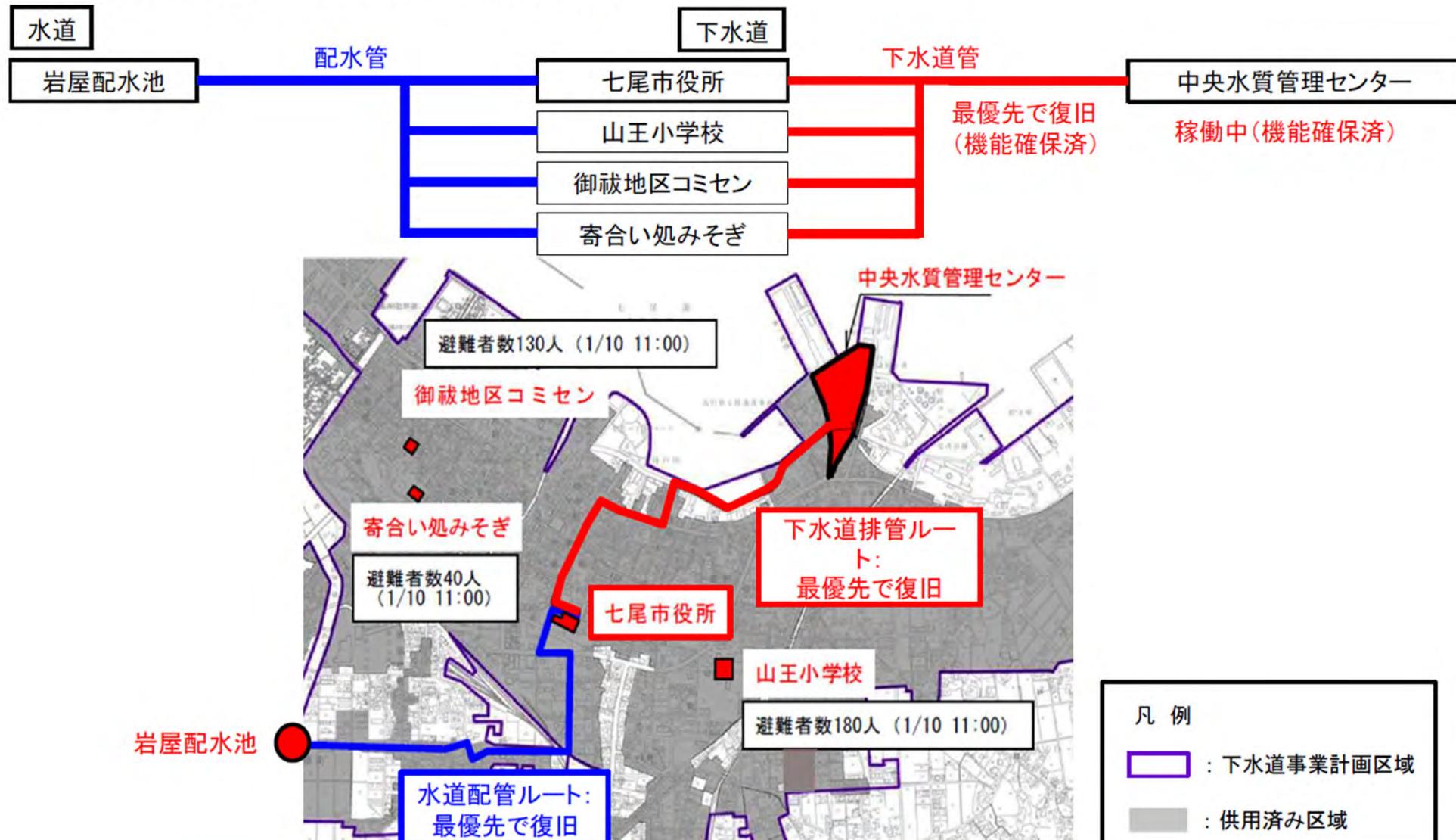
- 現在断水が続いている状況であるが、東日本大震災や熊本地震などと比較しても、能登半島地震に伴う断水継続期間に大きく差はないものの、断水率が高い。



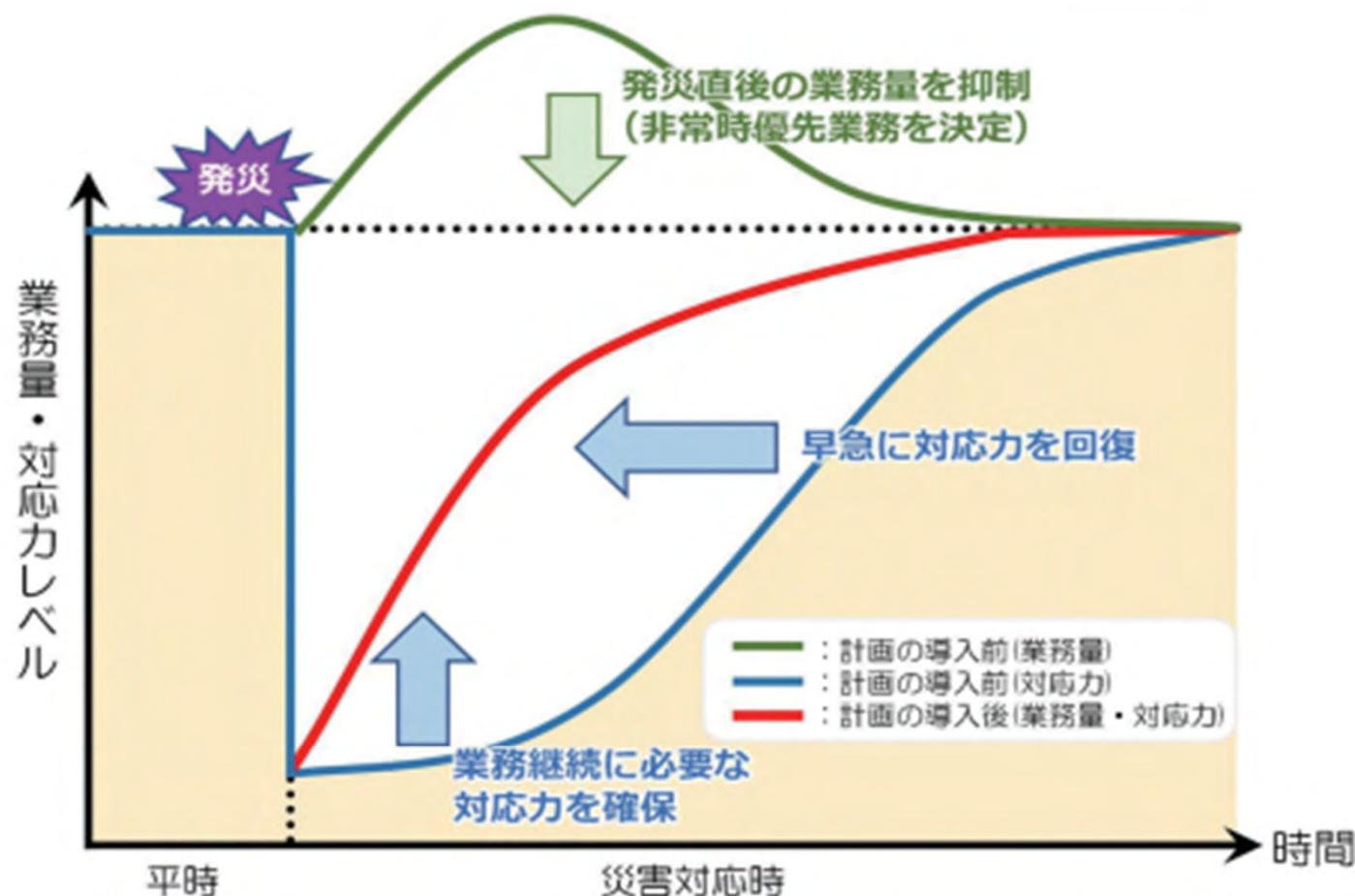
上下水道一体となった早期復旧の取組について

○上下水道一体となった早期復旧を図るため、現地で復旧支援に携わる全国の水道・下水道職員が相互に連携を図り、優先地区の確認や工程調整を行い、水道の復旧に合わせて下水道を復旧

- 市役所や避難所など水道復旧の優先地区を踏まえて、下水道の復旧順位を決定
- 水道と下水道で同じ自治体が復旧支援する等、情報共有を図りやすい仕組みを構築



事前準備:BCPによる戦略的対応



下水道BCP導入による早期復旧のイメージ

出典:「下水道BCP策定マニュアル2019年版(地震・津波・水害編)令和2年4月」
(国土交通省)をもとに作成

災害対応の基本コンセプト
「想定ありき」

BCP策定による
戦略

BCPは半分くらいは役立つが
「使える・流せる」ための
戦術と人材



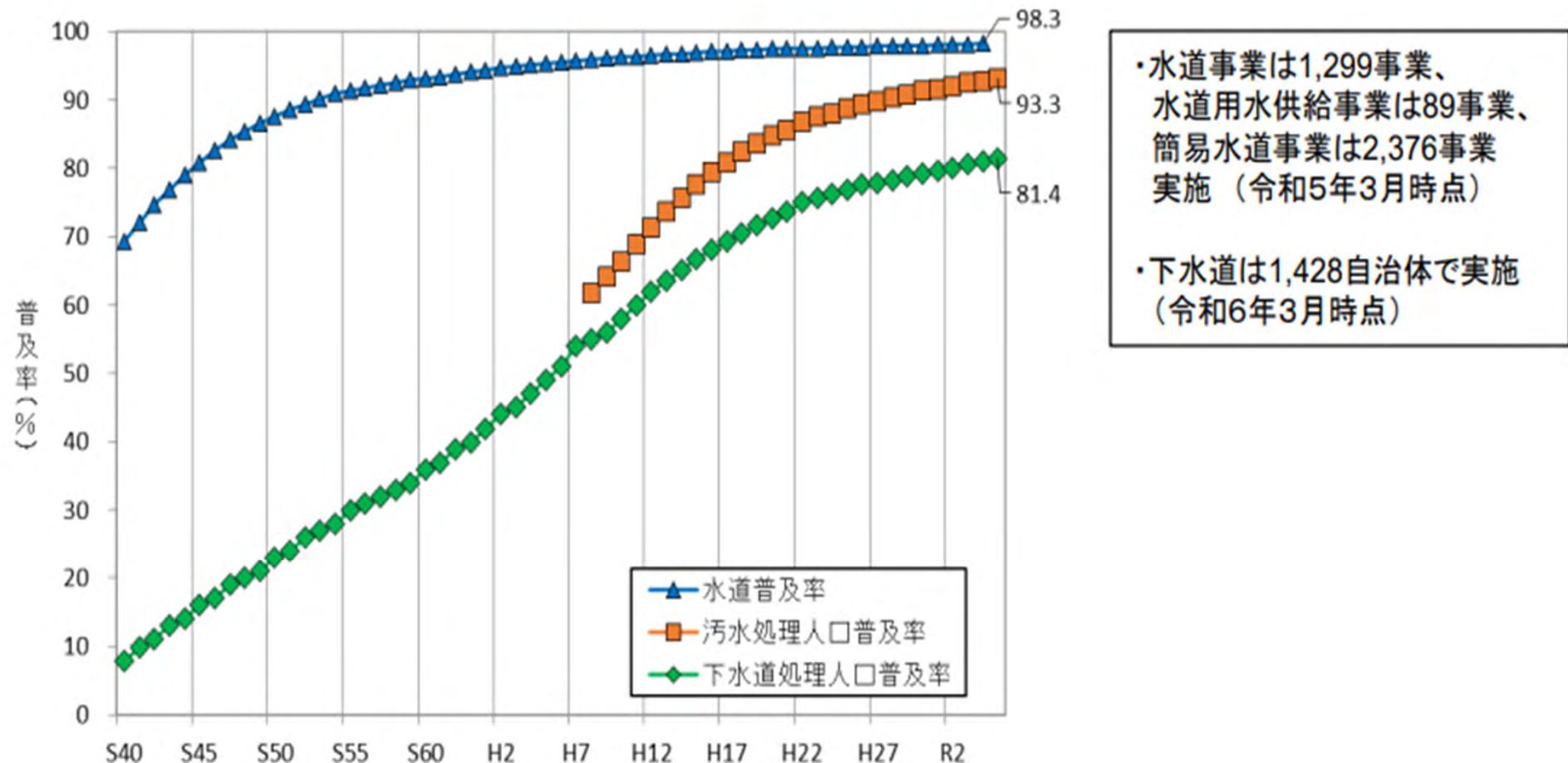
II.下水管の老朽化と道路陥没について



地下ライフルラインが危ない

水道と下水道の普及率

- 水道の普及率は、高度成長期に急激に上昇し、現在ではほぼ100%に達している。
- 下水道の普及率は、下水道、農業集落排水、浄化槽等を合わせた汚水処理人口普及率で約93.3%となっている。(未普及人口約830万人、下水道処理人口普及率約81.4%)



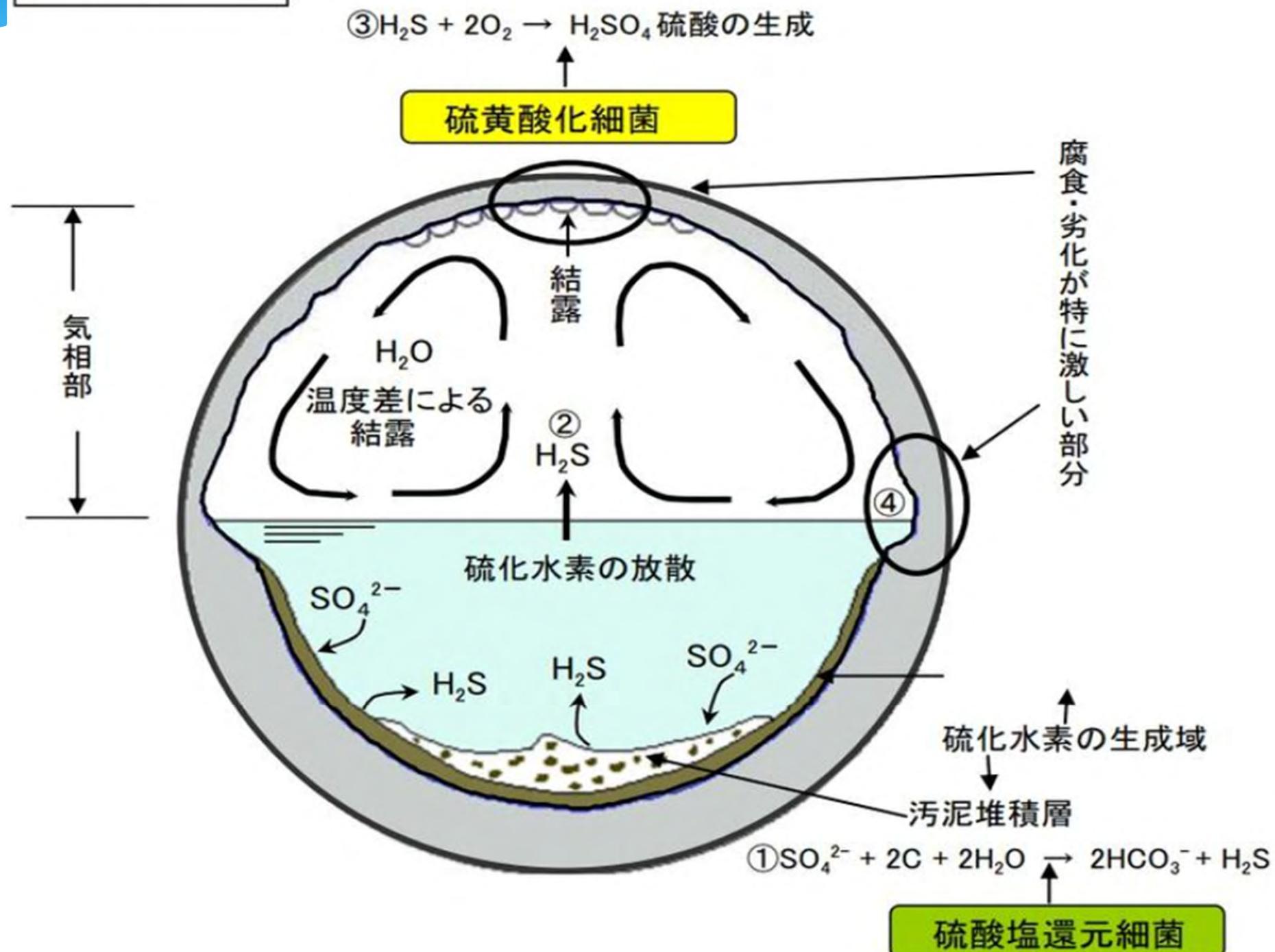
- ・水道事業は1,299事業、
水道用水供給事業は89事業、
簡易水道事業は2,376事業
実施（令和5年3月時点）
- ・下水道は1,428自治体で実施
(令和6年3月時点)

水道の普及率（R4年度時点）、汚水処理人口普及率と下水道処理人口普及率の推移（R5年度時点）

埼玉県・八潮市の道路陥没

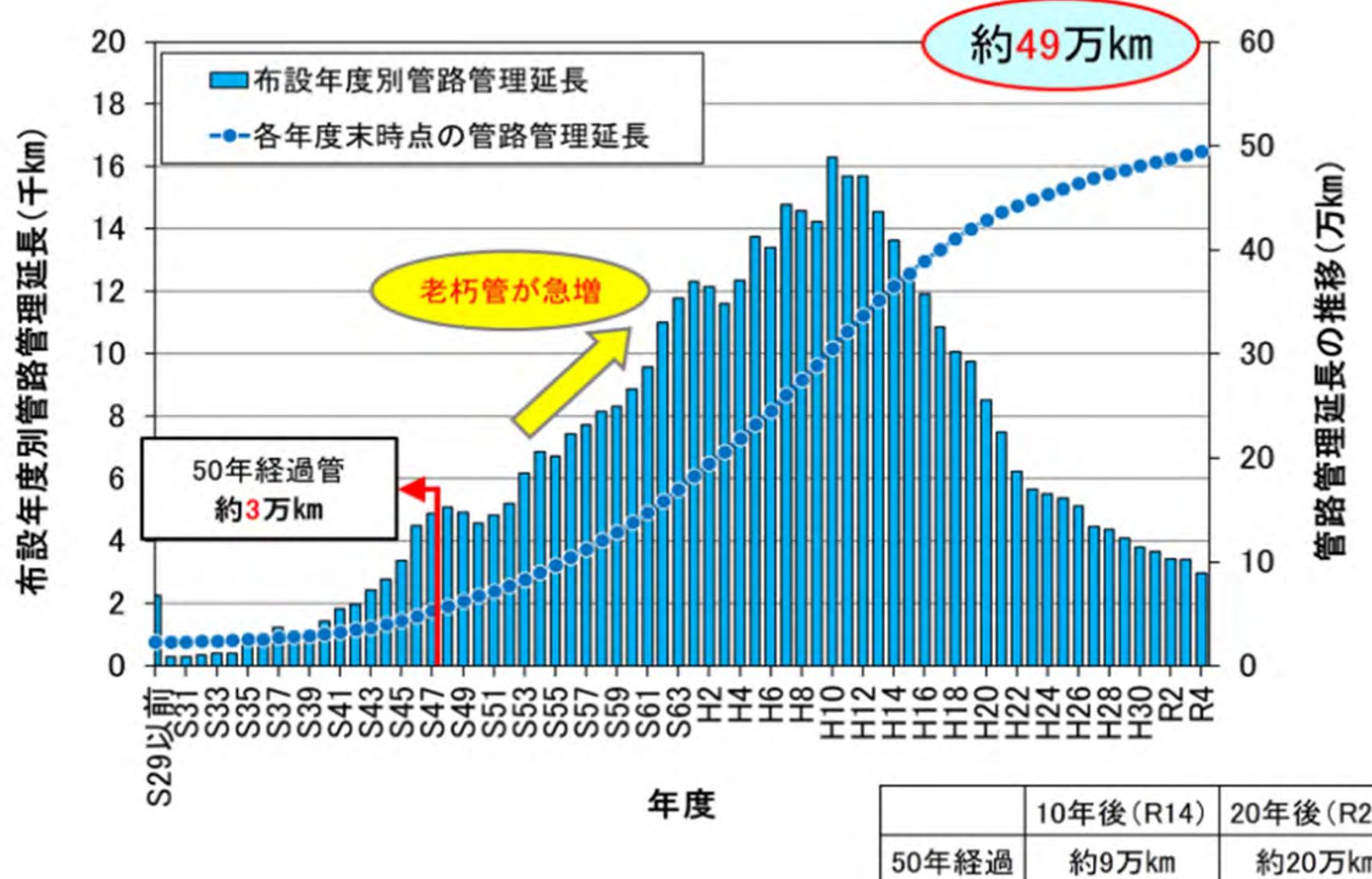


腐食概念図



下水道の設置年度別の管路延長:総延長は49万km

■ 管路施設の年度別管理延長(R4末現在)



○下水管路の全国特別重点調査の優先実施箇所(腐食しやすい箇所など)において、緊急度Iの要対策延長は約72km※1、空洞は6箇所※4、確認されました(うち4箇所で対策済み、残り2箇所は陥没の可能性は低いが早急に対策実施予定)。

8月時点の調査結果(概要)

(8月8日時点)

優先実施箇所該当延長	約813km (該当128団体)
潜行目視やテレビカメラによる目視調査実施済み延長	約730km
打音調査等実施済み延長	約137km
緊急度Iと判定された要対策延長※1	約72km
緊急度IIと判定された要対策延長※2	約225km
空洞調査実施済み延長※3	約285km
空洞が確認された箇所※4	6箇所

※1 原則1年以内の速やかな対策が必要と見込まれる推計延長

※2 応急措置を実施した上で5年以内の対策が必要と見込まれる推計延長

※3 路面や管路内からの空洞調査、簡易な貫入試験など

※4 貫入試験などにより空洞があることが確定した箇所数(うち4箇所で対策済み、残り2箇所は陥没の可能性は低いが早急に対策実施予定)

(参考)

緊急度	緊急度に応じた対策内容
I	原則1年以内に速やかな対策を実施
II	応急措置を実施した上で、5年以内に対策を実施

調査の様子



ドローンによる目視調査



リバウンドハンマーによる打音調査等



貫入試験による空洞調査

緊急度Iと判定された管路の事例



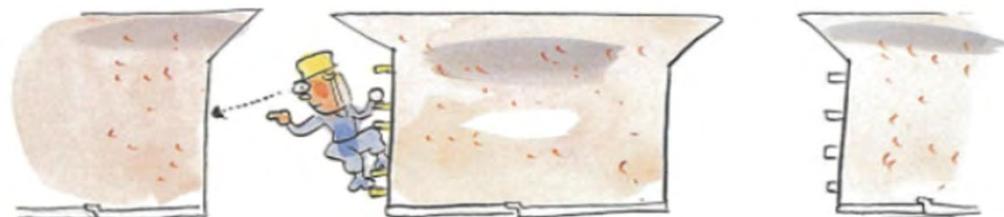
管の腐食から緊急度Iと判定

対応について

- 調査や判定が未了の箇所について、安全確保に最大限留意しながら、それらの速やかな実施と、要対策延長や空洞確認箇所について、道路管理者とも連携した対策の速やかな実施を要請中。引き続き、これらの取組を技術的・財政的に支援していく。
- また、本調査結果については、有識者委員会での議論に反映していく。

管路の基本的な点検方法

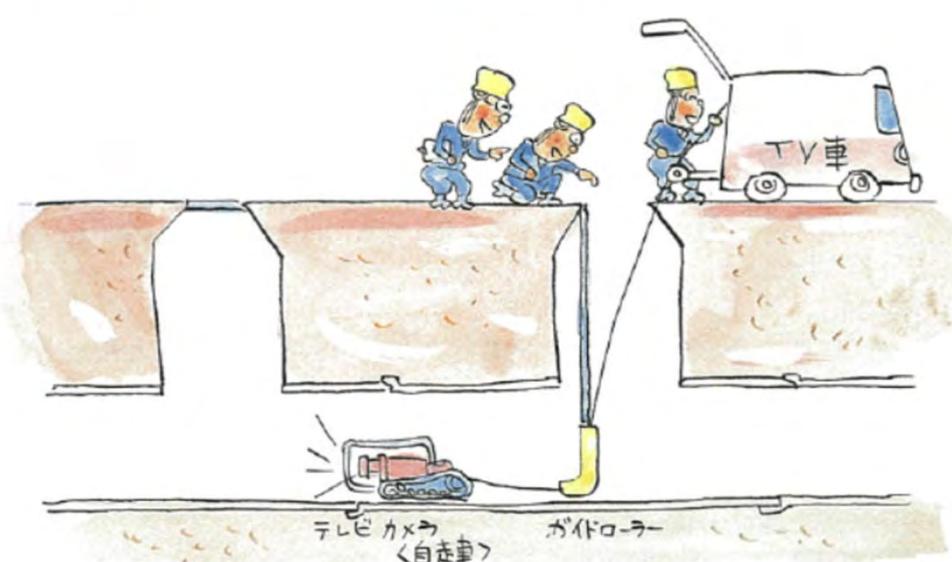
クラックの長さや、腐食による鉄筋の露出の有無、たるみ、浸入水などを調査して判定(ただちに補修など)



口径800mm以上



管内は硫化水素事故の危険



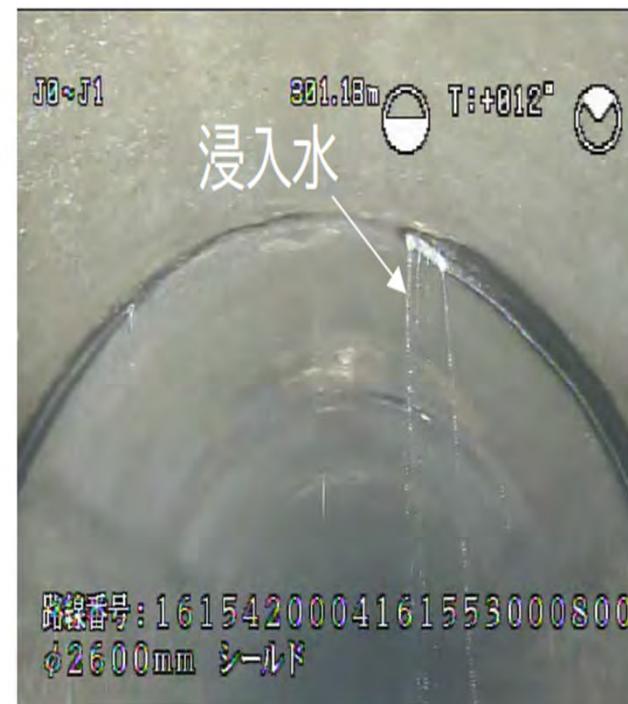
口径800mm未満

横浜市資料

- 腐食やクラックなど、一定程度老朽化が進んでいる箇所は、複数見つかっている状況
- 陥没事故につながるような劣化は、見つかっていない



下水道管内の状況(腐食の一例)



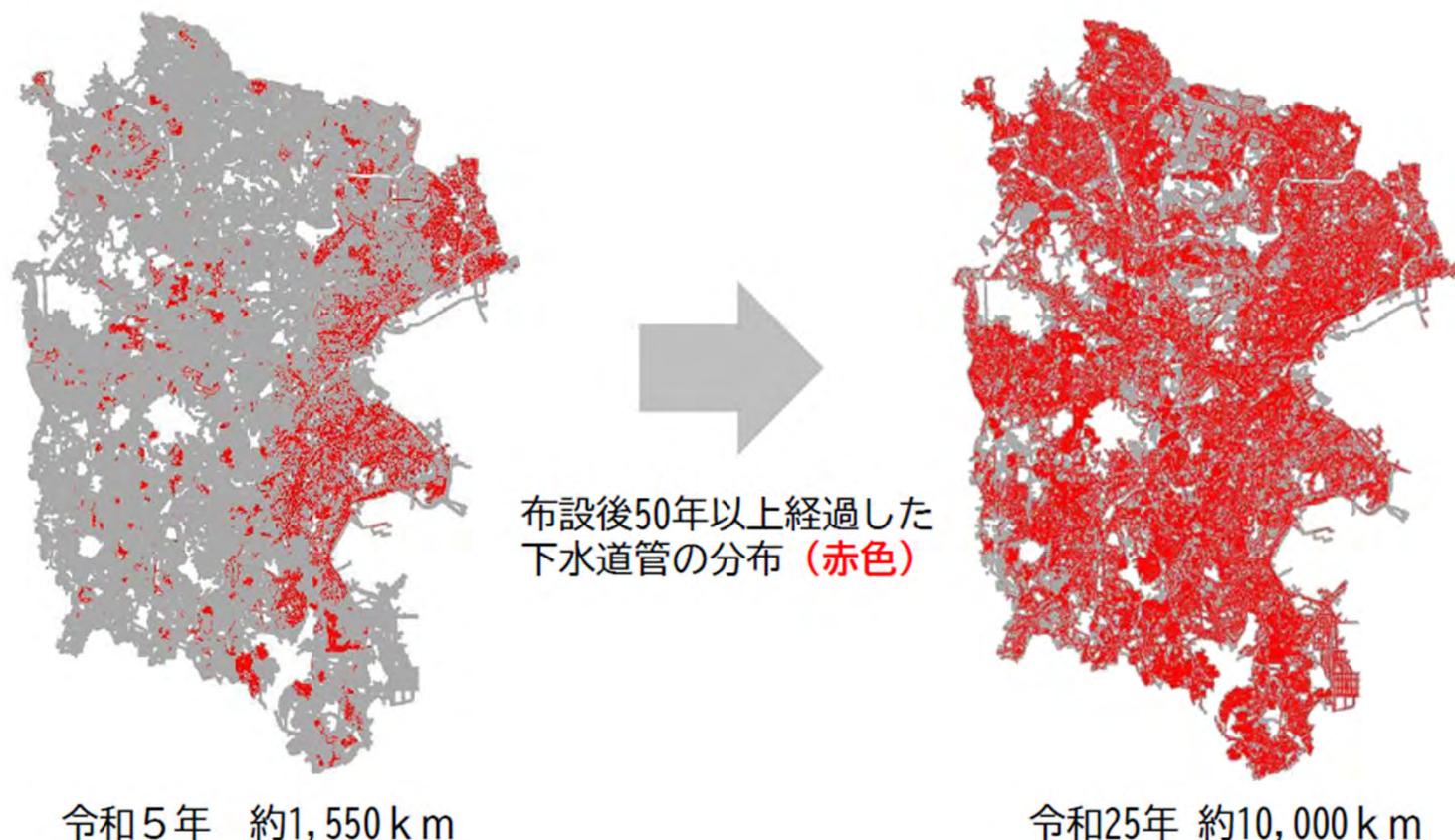
下水道管内の状況(浸入水の一例)

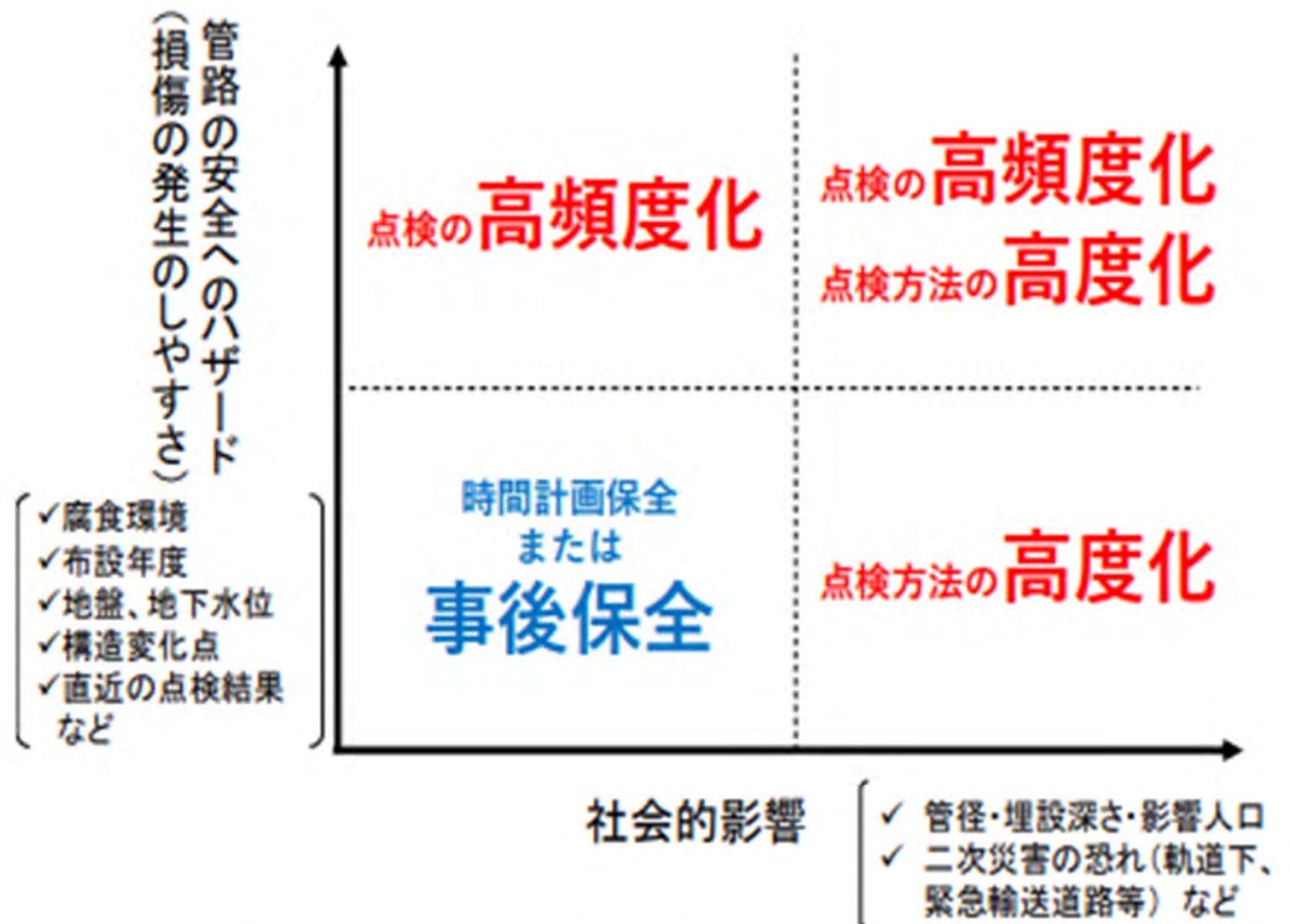


下水道管内の状況(クラックの一例)

横浜市資料

- 本市は、約12,000kmの下水道管を保有
- 現状、布設後50年を経過した下水道管は、約1,550km(約13%)
- 20年後には、約10,000km(約84%)が、布設後50年を超える見込み





下水道管路の点検・調査の重点化とメリハリの考え方

国土交通省資料

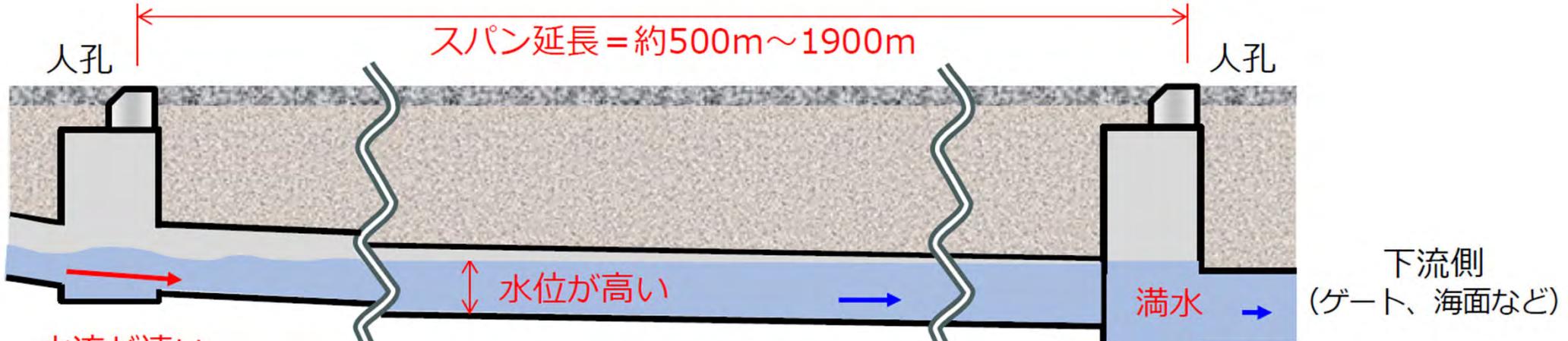
大規模で水位が高い管路の対策の難しさ

水位が高く、速く
止められないから
人が入れない。

例えば、身長170cmの場合、

- ・水深50cm（ひざくらいの高さ）
→流速1.5m／秒程度で安全避難が困難に。
- ・水深90cm（腰くらいの高さ）
→流速0.7m／秒程度で安全避難が困難に。

管内調査困難箇所



水流が速い



水位が高い

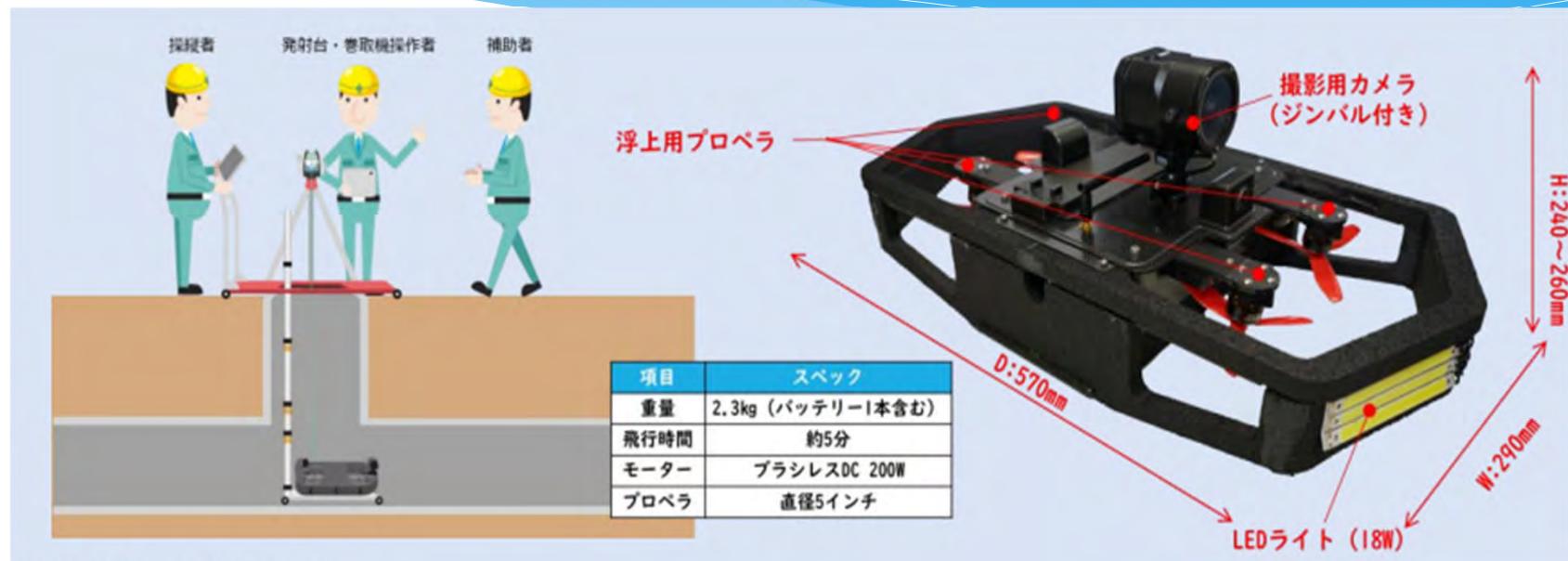


満水



調査に関する新技術の開発

国土交通省DXカタログより抜粋



管径:400mm~1,500mm※

※ 上限は機体搭載の照明による。照明を追加搭載した場合は1,500mm以上での適用可能です。

水位:飛行空間が400mm程度確保できる水位

浮流式TVカメラ調査による写真

(全国特別重点調査)



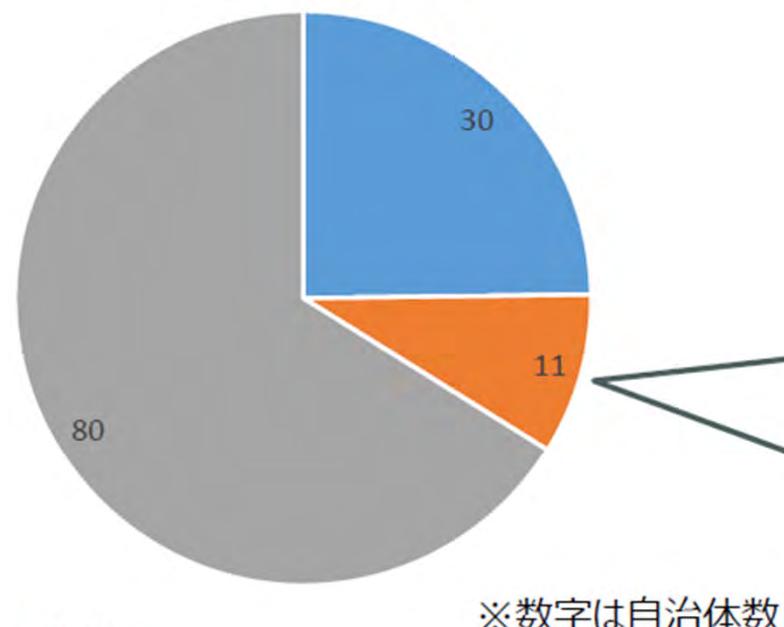
今回の確認においては、流量が多く自走式テレビカメラや潜行目視による点検が困難な箇所において多く採用された



浮流式の現状技術の課題～国土交通省・管路メンテ推進会議より～

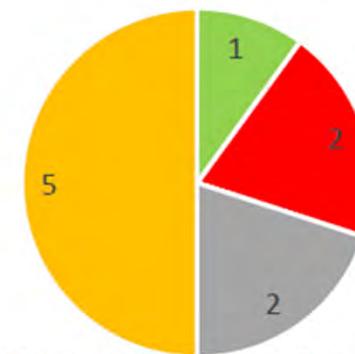
- 全国特別重点調査（優先実施箇所）を実施し、回答を得た121自治体中、30自治体において浮流式を採用
- 浮流式カメラの採用を検討したが使用に至らなかった理由として、「水量が満水に近い場合は適さない」との業者の見解、「スクリーニングに用いるものであり、精度面から詳細調査には適さない」といった技術の適用条件等の理由の他、「地元業者で使用できる者がいなかった」、「適正な歩掛けや管理の指針がなかった」という調達面の回答もあった

特別重点調査（優先実施箇所）において浮流式を検討したか否か



- 使用した
- 検討したが使用できなかった
- 検討しなかった（使用する必要がなかった）

「検討したが使用できなかった」の内訳



- 広く技術を募ったが見つからなかった
- 地元業者で使用できる者がいなかった 等
- 機材の数が少なく調査時期に手配ができなかった
- 技術の適用条件等の理由により断念

高水位での改築技術の開発



SPR工法

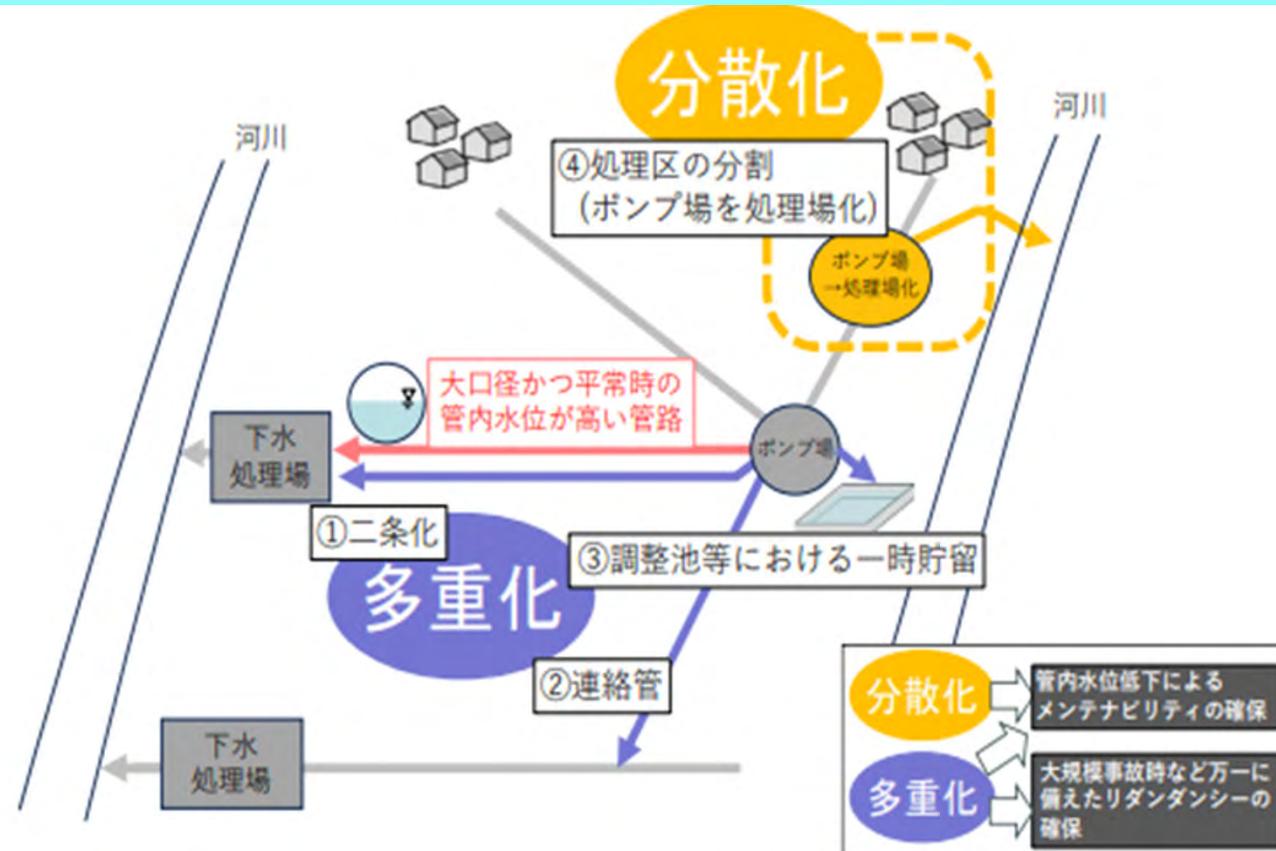
どんな断面でも水を流しながら施工可能

適用範囲:水位は60cm以下
:流速は1.0m/s以下

SPR工法協会ホームページより

当面は水位を下げるしかない現実

大規模下水道システムの大口径かつ平常時の管内水位が高い下水管路は、多重化によるリダンダンシーとメンテナンスしやすい構造に



大規模下水道システムにおけるリダンダンシー・
メンテナビリティの確保

財源確保について

第1次国土強靭化実施中期計画(抄)(6月6日閣議決定)

国の一斉点検を受けて

損傷リスクが高く、事故発生時に社会的影響が大きい大口径下水管路（「下水管路の全国特別重点調査」の対象※：約5,000km）の健全性の確保率

0%【R6】→100%【R12】

※ 口径2m以上かつ30年以上経過した下水管路

計画的な対策推進

修繕・改築や災害・事故時の迅速な復旧が容易ではない大口径下水管路（口径2m以上の管路）を有する地方公共団体（約60団体）のうち、リダンダンシー確保に関する計画を策定し、取組を進めている団体の割合

7%【R6】→100%【R9】

新技術活用

下水道事業を実施している地方公共団体（全国約1,500団体）のうち、メンテナンスに関する上下水道DX技術（ドローンによる下水管路内調査手法等）を導入している団体の割合

21%【R6】→100%【R9】

効率化を図った上で財源確保

税金

(国費と自治体一般会計)

と

市民からの使用料

効果もリスクも、市民への
「見える化」と協働が必要